

SÚHRNNÁ SPRÁVA

k previerke národného etalónu

Národný etalón:	NE 020A/99 Národný etalón teploty v intervale teplôt od $-38,8344$ °C do $961,78$ °C
Osoba zodpovedná za národný etalón:	Ing. Stanislav Ďuriš, PhD., hosť. prof.
Správu vypracoval:	Ing. Stanislav Ďuriš, PhD., hosť. prof.

Bratislava, december 2010

Obsah

Zoznam použitých skratiek	3
1. Technicko - ekonomické zdôvodnenie potreby a výberu národného etalónu teploty	4
2. Prehľad stavu metrológie teploty vo svete	4
3. Opis národného etalónu a s ním spojeného etalónového zariadenia	5
3.1 Teoretický základ	5
3.2 Zostava zariadenia NE teploty	7
3.3 Odovzdávanie hodnoty jednotky	10
3.3.1 Etalónové snímače teploty	10
3.3.2 Zariadenia na realizáciu porovnávacej metódy	11
3.3.3 Prídavné snímacie a vyhodnocovacie zariadenia	11
4. Špecifikácia metrologických vlastností etalónu a etalónového zariadenia	13
4.1 Súbor definičných pevných bodov	13
4.2 Interpolačné prístroje (etalónové platinové odporové snímače teploty)	13
4.3 Zariadenia pre realizáciu definičných pevných bodov	14
5. Vyhodnotenie neistôt	14
6. Analýza výsledkov výskumu	18
7. Medzinárodné porovnávacie merania	18
8. Literatúra	25
9. Zoznam medzinárodných porovnávacích meraní	26

Príloha č. 1 Certifikát NE

Príloha č. 2 Pravidlá používania a uchovávania NE teploty

Zoznam použitých skratiek

BIPM	Medzinárodný úrad pre miery a váhy (International Bureau of Weights and Measures)
CIPM	Medzinárodný výbor pre miery a váhy (International Committee of Weights and Measures)
CCT	Poradný výbor pre termometriu
ČMI	Český metrologický inštitút (ČR) (Consultative Committee for Thermometry)
DPB	Definičný pevný bod
EOST	Etalónový odporový snímač teploty
EVOST	Etalónový vysokoteplotný odporový snímač teploty
ETST	Etalónový termoelektrický snímač teploty
IPTS-68	Medzinárodná praktická teplotná stupnica 1968 (International Practical Temperature Scale 1968)
ITS-90	Medzinárodná teplotná stupnica 1990 (International Temperature Scale 1990)
NE	Národný etalón
NIST	National Institute of Standards and Technology (U.S.A.)
NPL	National Physical Laboratory (Anglicko)
OST	Odporový snímač teploty
PTB	Physikalische Technische Bundesanstalt (Nemecko)
SMU	Slovenský metrologický ústav
TBV	Trojný bod vody
TST	Termoelektrický snímač teploty
ÚNMS SR	Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky
VNIIM	Všesojuznyj naučnoisledovatel'skij inštitút imeni Mendelejeva (Rusko)

1. Technicko - ekonomické zdôvodnenie potreby a výberu národného etalónu teploty

Teplota je veľmi dôležitá fyzikálna veličina. S potrebou merania teploty sa stretávame takmer vo všetkých odvetviach národného hospodárstva, či už v oblasti strojárenského, chemického, plynárskeho alebo potravinárskeho priemyslu, metalurgie, energetiky, v oblasti bezpečnosti jadrových elektrární, v medicíne, pri ochrane životného prostredia, ako aj v bežnom živote. Presné meranie teploty v konečnom dôsledku vedie k zvyšovaniu efektívnosti výrobných procesov, bezpečnosti práce a ochrany zdravia a k ekonomickým úsporám. Z toho dôvodu je nevyhnutné zabezpečiť správnosť a jednotnosť merania teploty na medzinárodnej úrovni a v súlade s požiadavkami praxe.

Jednou z prijateľných ciest zabezpečenia metrologie teploty v SR je neustále zdokonaľovanie medzinárodne akceptovateľného národného etalónu teploty, pomocou ktorého sa realizuje teplotná stupnica a následne sa zabezpečuje jej prenos. V súčasnosti NE č. 020/A/99 zabezpečuje realizáciu teplotnej stupnice od trojného bodu Hg (-38,8344 °C) do bodu tuhnutia Ag (961,78 °C), ktorý je výsledkom výskumu a vývoja vykonaného v SMU, je v súlade s medzinárodným dokumentom ITS-90 [1] a súvisiacimi odporúčaniami [3].

2. Prehľad stavu metrologie teploty vo svete

Do roku 1990 sa realizovala teplotná stupnica v súlade s dokumentom IPTS-68 (Medzinárodná praktická teplotná stupnica 1968) a jej doplneným vydaním z roku 1975. V roku 1989 bol Medzinárodným výborom pre miery a váhy (CIPM) na jeho zasadnutí v Paríži prijatý nový dokument ITS-90 (Medzinárodná teplotná stupnica 1990 - International Temperature Scale of 1990) v súlade s požiadavkou uvedenou v Rezolúcii č. 7 osemnásťtej Generálnej konferencie pre miery a váhy v roku 1987. Celá príprava dokumentu bola vedená Poradným výborom pre termometriu (CCT – Consultative Committee for Thermometry) pri CIPM, ktorého členom je aj SMU. ITS-90 nahradila predchádzajúce stupnice (IPTS - 68 doplnené vydanie v roku 1975 a Provizórnu teplotnú stupnicu z roku 1976) s platnosťou od 1. 1. 1990.

Teplotná stupnica sa vo všetkých svetových metrologických laboratóriách teploty realizuje v súlade s dokumentom ITS-90. Rozsah je samozrejme zabezpečovaný vzhľadom na potreby toho ktorého štátu.

V oblasti stredných teplôt, ktorá je predmetom tejto súhrnnej správy, medzi najvýznamnejšie svetové laboratória patria NIST (U.S.A.), PTB (Nemecko), NPL (Anglicko), INRIM (Taliansko) a VNIIM (Rusko).

Prístrojová vybavenosť laboratórií uchovávajúcich národné etalóny teploty smeruje stále viac ku komerčne vyrábaným zariadeniam od svetových výrobcov. Jedná sa najmä o pece, termostaty, banky definičných pevných bodov, etalónové snímače teploty a vyhodnocovacie zariadenia. Samozrejme pri vývoji týchto zariadení je úzka spolupráca tej ktorej firmy zaoberajúcej sa výrobou so svetovými metrologickými laboratóriami teploty. Výhodou tohoto trendu vo vybavenosti laboratórií je lepšia porovnateľnosť realizácií teplotnej stupnice v jednotlivých laboratóriách a tiež lepšia koordinácia výskumných prác v oblasti termometrie v medzinárodnom meradle. Vo svetových laboratóriách sa výskumná práca orientuje predovšetkým na identifikovanie a kvantifikovanie faktorov ovplyvňujúcich teplotu definičných pevných bodov.

Vo svete prebehli kľúčové porovnávanie realizácií teplotnej stupnice v jednotlivých národných laboratóriách teploty. Tieto porovnávanie sú rozdelené do dvoch úrovní. Najvyššia úroveň je v rámci porovnávanie organizovaného CCT pri CIPM, nižšia úroveň je v rámci regionálnych zoskupení (napr. EURAMET e.V. a COOMET). Laboratórium termometrie SMU sa zúčastnilo kľúčových porovnávacích meraní na úrovni poradného výboru pre termometriu (CCT) pri Medzinárodnom výbore pre miery a váhy (CIPM) a tiež v rámci regionálnych metrologických organizácií EURAMET e.V. a COOMET. Účasť laboratória termometrie SMU je podrobnejšie uvedená v kapitole 6. Medzinárodné porovnávacie meranie.

3. Opis národného etalónu a s ním spojeného etalónového zariadenia

3.1 Teoretický základ

Národný etalón teploty vychádza z dokumentu ITS-90, podľa ktorého jednotkou základnej fyzikálnej veličiny termodynamickéj teploty (symbol T) je kelvin, označenie K a je definovaný ako 273,16 – tá časť termodynamickéj teploty trojného bodu vody. ITS-90 definuje zároveň medzinárodné kelvinove

teploty (T_{90}) aj celsiove teploty (t_{90}). Jednotkou fyzikálnej veličiny t_{90} je stupeň Celsia, symbol °C. Vzťah medzi T_{90} a t_{90} je:

$$t_{90}/^{\circ}\text{C} = T_{90}/\text{K} - 273,15 \text{ K} \quad (1)$$

ITS-90, ktorá definuje teplotnú stupnicu od 0,65 K až do teplôt prakticky merateľných v súlade s Planckovým radiačným zákonom, obsahuje viacero rozsahov a podrozsahov, v ktorých je T_{90} definovaná. Pre oblasť etalónu, ktorý je predmetom tejto správy, je podstatný rozsah od -38,8344 °C do 961,78 °C.

Teplotná stupnica v súlade s dokumentom ITS-90 vo vyššie uvedenom rozsahu je definovaná pomocou etalónových platinových odporových snímačov teploty (EOST) kalibrovaných v predpísaných definičných pevných bodoch a zodpovedajúcich interpolačných vzťahov [1].

Platinový etalónový odporový snímač teploty musí byť vyrobený z platiny s vysokou čistotou, bez vnútorných napätí a musí vyhovovať aspoň jednej z podmienok [1]:

$$W(\text{Hg}) \leq 0,844235 \quad (2)$$

$$W(\text{Ga}) \geq 1,11807 \quad (3)$$

Etalónový vysokoteplotný platinový odporový snímač teploty (EVOST), ktorý je určený až do teploty tuhnutia striebra musí vyhovovať aj podmienke:

$$W(\text{Ag}) \geq 4,2844 \quad (4)$$

kde $W(\text{Hg})$, $W(\text{Ga})$, $W(\text{Ag})$ sú pomerné odpory EOST pri teplotách (T_{Hg} , T_{Ga} , T_{Ag}). Je definovaný ako pomer odporu EOST $R(T_{90})$, pri teplote T_{90} k odporu EOST $R(273,16 \text{ K})$ pri teplote trojného bodu vody:

$$W(T_{90}) = \frac{R(T_{90})}{R(273,16)} \quad (5)$$

Závislosť odporu EOST na teplote je daná dvomi referenčnými funkciami (6); (8) popisujúcimi závislosť odporu referenčných EOST na teplote a súborom odchyľkových funkcií opisujúcich rozdiel pomerného odporu EOST a pomerného odporu referenčného EOST pre príslušný podrozsah ITS-90.

Pre rozsah od 13,8033 K do 273,16 K je referenčná funkcia definovaná vzťahom

$$\ln[W_r(T_{90})] = A_0 + \sum_{i=1}^{12} A_i \left[\frac{\ln \frac{T_{90}}{273,16} - 1,5}{1,5} \right]^i \quad (6)$$

Inverzná funkcia rovnice (6) je:

$$\frac{T_{90}}{273,16K} = B_0 + \sum_{i=1}^{15} B_i \left(\frac{W_r(T_{90})^{1/6} - 0,65}{0,35} \right)^i \quad (7)$$

Referenčná funkcia ITS-90 pre rozsah od 0 °C do 961,78 °C je definovaná vzťahom

$$W_r(T_{90}) = C_0 + \sum_{i=1}^9 C_i \left(\frac{T_{90} - 754,15}{481} \right)^i \quad (8)$$

Inverzná funkcia k funkcii (8) je

$$T_{90}/K - 273,15 = D_0 + \sum_{i=1}^9 D_i \left(\frac{W_r(T_{90}) - 2,64}{1,64} \right)^i \quad (9)$$

Hodnoty konštánt $A_0 \dots A_i$, $B_0 \dots B_i$, $C_0 \dots C_i$, $D_0 \dots D_i$ sú uvedené v ITS-90 [1], tabuľka č. 4.

Odchýlková funkcia pre rozsah od -38,8344 °C do 961,78 °C je definovaná vzťahom:

$$W(T_{90}) - W_r(T_{90}) = a [W(T_{90}) - 1] + b [W(T_{90}) - 1]^2 + c [W(T_{90}) - 1]^3 + d [W(T_{90}) - W(660,323^\circ\text{C})]^2 \quad (10)$$

Koeficienty a , b , c , d sa získajú na základe kalibrácie EOST/EVOST v príslušných definičných pevných bodoch [1].

3.2 Zostava zariadenia NE teploty

Zariadenia patriace do zostavy NE teploty v rozsahu od -38,8344 °C do 961,78 °C možno rozdeliť do nasledovných skupín:

- A/ súbor definičných pevných bodov (DPB),
- B/ interpolačné prístroje (etalónový platinový odporový snímač teploty a etalónový vysokoteplotný platinový odporový snímač teploty),
- C/ zariadenia pre realizáciu definičných pevných bodov,
- D/ prídavné snímacie a vyhodnocovacie zariadenia.

A/ súbor definičných pevných bodov (DPB)

Súbor definičných pevných bodov pozostáva z trojného bodu vody a bodov s definovanou teplotou na základe fázovej premeny (tavenie/tuhnutie, alebo trojné body) čistých kovov v súlade s ITS-90.

Tabuľka č. 1

DPB	Teplota $t_{90}/^{\circ}\text{C}$	Výrobca	Model	Výr. číslo
Trojný bod Hg	-38,8344	ČSMÚ	ČSMÚ	Hg 10
Trojný bod vody	0,01	ISOTECH, Anglicko	C 12	100
Trojný bod vody	0,01	Hart Scientific, U.S.A.	5901	1302
Trojný bod vody	0,01	Hart Scientific, U.S.A.	5901	1363
Bod tavenia Ga	29,7646	SMU, SR	SMU	Ga-97B
Bod tuhnutia In	156,5985	Hart Scientific, U.S.A.	5904	In-8011
Bod tuhnutia Sn	231,928	Hart Scientific, U.S.A.	5905	Sn-9023
Bod tuhnutia Zn	419,527	Hart Scientific, U.S.A.	5906	Zn-7012
Bod tuhnutia Al	660,323	Hart Scientific, U.S.A.	5907	Al-7016
Bod tuhnutia Ag	961,78	Hart Scientific, U.S.A.	5908	Ag-8009

Definičné pevné body Hg, In, Sn, Zn, Al a Ag sú uložené v špeciálnych kontajneroch prispôbených pre vloženie bodov do pracovného priestoru pece, resp. termostatu.

B/ interpolačné prístroje

Do zostavy NE teploty sú zaradené:

- etalónový odporový snímač teploty (1 ks) so základným odporom 25 Ω , teplotný rozsah (-38,8344 do 660,323) $^{\circ}\text{C}$
- etalónový vysokoteplotný odporový snímač teploty (1 ks) so základným odporom 0,2 Ω , teplotný rozsah (0,01 do 961,78) $^{\circ}\text{C}$

EOST a EVOST spĺňajú kritéria ITS-90.

C/ zariadenia pre realizáciu definičných pevných bodov

Tabuľka č. 2

Zariadenie	Účel využitia	Pracovný rozsah teplôt °C	Výrobca	Model	Výrobné číslo
Kvapalinový termostat	Uchovávanie TBV	- 0,5 až + 0,5	ISOTECH, Anglicko	18233	02AS23
Kvapalinový termostat	DPB Hg, Ga	-65 až +110	Hart Scientific, U.S.A.	7061	7B032
Kalibračná pec	DPB In, Sn, Zn, Al	100 až 680	Hart Scientific, U.S.A.	9114	7A019
Kalibračná pec	DPB In, Sn, Zn, Al	100 až 680	Hart Scientific, U.S.A.	9114	9C043
Kalibračná pec	DPB In, Sn, Zn, Al	100 až 680	Hart Scientific, U.S.A.	9114	8C027
Kalibračná pec	DPB Al, Ag	100 až 962	Hart Scientific, U.S.A.	9116	9C009
Kalibračná pec s tepelnou trubicou	DPB Al, Ag	400 až 1100	ISOTECH, Anglicko	17705	161069/1

D/ prídavné snímacie a vyhodnocovacie zariadenia

Do tejto skupiny sú zaradené všetky zariadenia, ktoré sú nevyhnutné na meranie výstupného signálu odporových snímačov teploty. Sú tu navyše zaradené aj niektoré pomocné zariadenia.

Tabuľka č. 3

Zariadenie	Účel použitia	Výrobca	Model	Výrobné číslo
Striedavý odporový most	Meranie výstupného signálu z odporových snímačov teploty	ASL, Anglicko	F 900	5 208 002 170
Etalóny odporu: 100 Ω 2,5 Ω	Pre striedavý odporový most	TINSLEY, Anglicko	5685A 5649	268978 216955
Kvapalinový termostat	Stabilizácia teploty etalónov odporu	Hart Scientific, U.S.A.	7012	99099
Odporový snímač teploty Pt 100	Meranie teploty v etalónoch odporu	ZPA ČR	11281	6
Teplomer, vlhkomer	Monitorovanie prostredia v laboratóriu NE teploty	Almemo	2290-4	H00120737M
Multimeter	Snímanie výstupného signálu z OST pre meranie teploty etalónov odporu	NORMA, Nemecko	D4845	DN42813FE
Software Lab View s užívateľským programom	Automatické snímanie hodnôt z odporového mosta a z multimetra	National Instruments + SMÚ	7i Express F900+ NORMA	-

3.3 Odovzdávanie hodnoty jednotky

Odovzdávanie jednotky kelvin z NE sa zabezpečuje súborom zariadení, ktoré pozostávajú z etalónových snímačov teploty (EOST, EVOST, ETST), zariadení na realizáciu porovnávacej metódy a z prídavných snímacích a vyhodnocovacích zariadení.

3.3.1 Etalónové snímače teploty

- Sada etalónových odporových snímačov teploty so základným odporom 10 Ω a 25 Ω spĺňajúce kritéria ITS-90. Ich pravidelná kalibrácia (1x ročne) je zabezpečená v definičných pevných bodoch patriacich do zostavy NE (Hg, TBV, Ga, Sn, Zn, Al). Výber DPB závisí od konkrétneho rozsahu OST a riadi sa podrozsahmi ITS-90.
- Sada etalónových vysokoteplotných odporových snímačov teploty so základným odporom 0,2 Ω spĺňajúce kritéria ITS-90. Ich pravidelná

kalibrácia (1x ročne) je zabezpečená v definičných pevných bodoch patriacich do zostavy NE (TBV, Ga, Sn, Zn, Al, Ag).

- Sada etalónových termoelektrických snímačov teploty typu PtRh10-Pt a PtRh30-PtRh6. Ich pravidelná kalibrácia (1x ročne) je zabezpečená v definičných pevných bodoch patriacich do zostavy NE (Sn, Zn, Al, Ag).

3.3.2 Zariadenia na realizáciu porovnávacej metódy

Zariadenia na realizáciu porovnávacej metódy sú uvedené v tabuľke č. 4.

Tabuľka č. 4

Zariadenie	Teplotný rozsah °C	Výrobca	Model	Výrobné číslo
Kvapalinový kryostat s liehovou alebo vodnou náplňou	- 30 až 20	Nemecko	MK 70	3667
Kvapalinový termostat s vodnou náplňou	18 až 95	Tamson, Holandsko	PMT	710870
Kvapalinový termostat s olejovou náplňou	80 až 300	ASL Anglicko	C300	802100170
Kvapalinový termostat s vodnou alebo liehovou náplňou	-65 až 95	Hart Scientific, USA	7061	8C003
Kvapalinový termostat náplň: vodný roztok glykolu	-10 až 90	Hart Scientific, USA	7037	7B032
Kalibračná pec s porovnávacím blokom	100 až 680	Hart Scientific, USA	9114	7A019
Kalibračná pec	200 až 1200	GB/UK	Carbolite TZF 12/38/400	11/01/2911

3.3.3 Prídavné snímacie a vyhodnocovacie zariadenia

Do tejto skupiny patria všetky zariadenia, nevyhnutné na meranie výstupného signálu snímačov teploty a všetky pomocné zariadenia.

Tabuľka č. 5

Zariadenie	Účel použitia	Výrobca	Model	Výrobné číslo
Striedavý odporový most	Meranie výstupného signálu z odporových snímačov teploty	ASL, Anglicko	F 18	756-5034
Striedavý odporový most	Meranie výstupného signálu z odporových snímačov teploty	ASL, Anglicko	F 700	03194003
Etalóny odporu: 100 Ω 100 Ω 2,5Ω	Pre striedavý odporový most	TINSLEY, Anglicko	5685A 5649A 5649	268978 216 956 216955
Kvapalinový termostat	Stabilizácia teploty etalónu odporu	Hart Scientific	7012	99099
Odporový snímač teploty Pt 100	Meranie teploty v etalóne odporu	ZPA ČR	11281	6
Multimeter	Meranie elektrického odporu OST	Wavetek	1281	29450
Multimeter	Meranie elektrického odporu OST a elektrického napätia TST	Hewlett Packard	34401A	US36074138 Identif. č. 1
Multimeter	Meranie elektrického odporu OST a elektrického napätia TST	Hewlett Packard	34401A	US36074252 Identif. č. 2
Multimeter	Meranie elektrického odporu OST a elektrického napätia TST	Agilent	3458A	US28032385
Multimeter	Meranie elektrického odporu OST	NORMA, Nemecko	D4845	DN42813FE
Multimeter	Meranie elektrického napätia TST	Schlumberger	SI7063	IF00017637
Teplomer/vlhkomer	Monitorovanie prostredia v laboratóriu pre kalibráciu meradiel teploty	Fisher	217	ČT1
Teplomer/vlhkomer	Monitorovanie prostredia v laboratóriu pre kalibráciu TST	Fisher	217	ČT2
Teplomer/vlhkomer	Monitorovanie prostredia v laboratóriu NE teploty	Almemo	2290-4	H00120737M

4. Špecifikácia metrologických vlastností etalónu a etalónového zariadenia

4.1 Súbor definičných pevných bodov

Tabuľka č. 6

Definičný pevný bod (DPB)	Teplota ITS-90 t_{90} °C	Rozšírená neistota kalibrácie EOST/EVOST v DPB $U (k=2)$ mK
Hg	- 38,8344	0,65
TBV	0,01	0,13
Ga	29,7646	0,22
In	156,5985	0,96
Sn	231,928	0,94
Zn	419,527	0,86
Al	660,323	1,32
Ag	961,78	3,56

4.2 Interpolačné prístroje (etalónové platínové odporové snímače teploty)

Etalónový platínový odporový snímač teploty interpoluje teplotnú stupnicu v teplotnom rozsahu (-38,8344 do 660,323) °C.

Etalónový platínový vysokoteplotný odporový snímač teploty interpoluje teplotnú stupnicu v teplotnom rozsahu (0,01 do 961,78) °C.

4.3 Zariadenia pre realizáciu definičných pevných bodov

Tabuľka č. 7

Názov zariadenia	Teplotný rozsah °C
Kvapalinový termostat na realizáciu definičného pevného bodu Hg a Ga	-65 až +110
Kvapalinový termostat na uchovávanie TBV	-0,5 až +0,5
Kvapalinový termostat pre etalóny odporov	-20,00 až +110
Kalibračná pec na realizáciu In, Sn, Zn, Al	100 až 680
Kalibračná pec na realizáciu Al a Ag	550 až 1100
Kalibračná pec s tepelnou trubicou na realizáciu Al a Ag	400 až 1100

5. Vyhodnotenie neistôt

Štandardná neistota typu A bola vyhodnotená z rozptylu hodnôt v prvej tretine zádržní, čo je v súlade s podmienkou pre kalibráciu odporových snímačov teploty.

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (R_i - R_S)^2} \quad (11)$$

kde n je počet meraní, R_i je i -ta hodnota nameraného výstupného signálu snímača teploty, R_S je výberový priemer z nameraných hodnôt vypočítaný nasledovne:

$$R_S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \quad (12)$$

V ďalšom kroku bola vykonaná analýza zdrojov neistôt, od ktorých boli vyhodnotené ich príspevky k štandardnej neistote určené metódou typu B (u_{Bj}). Pri výpočte nebolo uvažované s koreláciami medzi veličinami reprezentujúcimi zdroje neistôt určených metódou typu B . Výsledná štandardná neistota určená metódou typu B bola vyhodnotená podľa nasledujúceho vzťahu:

$$u_B = \sqrt{\sum_{j=1}^m u_{Bj}^2} \quad (13)$$

Kombinovaná štandardná neistota u_c je daná:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (14)$$

V tabuľkách č. 8 a 9 sú uvedené číselné hodnoty zložiek štandardnej neistoty určených metódou typu *B*, hodnoty štandardnej neistoty určených metódou typu *A*, kombinovanej štandardnej neistoty a rozšírenej neistoty pre koeficient rozšírenia $k=2$ pre hladinu pravdepodobnosti 95 %. V tabuľke č. 8 sú hodnoty pre trojný bod vody a v tabuľke č. 9 pre DPB Hg, Ga, In, Sn, Zn, Al a Ag. Za každou z tabuliek nasleduje vysvetlenie, ako sa pristupovalo k získaniu hodnôt jednotlivých zložiek štandardnej neistoty určených metódou typu *B*.

Trojný bod vody

Tabuľka č. 8

u_{Bi}	Zdroj	Hodnota u_{Bi} mK
u_{B1}	Vplyv hydrostatického tlaku	0,004
u_{B2} u_{B3}	Vplyv meraní na striedavom odporovom moste - vplyvy zmien hodnoty etalónu odporu (vplyvom teploty) - vplyv nelinearity mosta	0,002 0,02
u_{B4}	Vplyv z dôvodu ohrevu EOST prechodom prúdu pri meraní	0,02
u_{B5}	Vplyv odvodu tepla v závislosti od hĺbky ponoru	0,02
u_{B6}	Vplyv zmeny izotopického a chemického zloženia vody	0,05
u_{B7}	Vplyv zvyškového tlaku v banke TBV	0,000015

	Zdroj	Hodnota u_{Bi} mK
u_B	Výsledná štandardná neistota určená metódou typu <i>B</i>	0,06
u_A	Štandardná neistota určená metódou typu <i>A</i>	0,02
u_C	Kombinovaná štandardná neistota	0,064
U	Rozšírená neistota pre $k=2$	0,13

Komentár k tabuľke č. 8:

u_{B1} - Vplyv hydrostatického tlaku (spôsobený umiestnením citlivého elementu EOST). Pre vyhodnotenie bola vzatá do úvahy neistota v umiestnení stredu citlivého elementu voči hladine vody 5 mm, prepočítaná na ekvivalent teploty s pomocou zodpovedajúceho koeficientu z tabuľky č. 2 dokumentu ITS-90.

Vplyv meraní na striedavom odporovom moste pozostáva zo zložiek u_{B2} a u_{B3} :

u_{B2} - Vplyv zmeny hodnoty etalónu odporu (z dôvodu zmien teploty)

Teplota etalónu odporu bola snímaná s neistotou 0,01 K. Táto neistota má vplyv na snímanie hodnoty etalón odporu, čo sa v konečnom dôsledku prepočíta na neistotu snímania teploty pomocou EOST a EVOST.

u_{B3} - Vplyv nelinearity striedavého odporového mosta bola stanovená na základe literatúry a skúseností z iných zahraničných laboratórií u ktorých je používaný tento typ mosta. Táto hodnota bola prepočítaná na ekvivalent teploty.

u_{B4} - Vplyv z dôvodu ohrevu EOST prechodom prúdu počas merania. Odhad z meraných hodnôt odporu odporového snímača teploty pri rôznych prúdoch na základe viacerých súborov nameraných hodnôt (minimálne 15).

u_{B5} - Vplyv odvodu tepla v závislosti od hĺbky ponoru. Odhad z kriviek ponoru, z odchýliek k ideálnej krivke.

u_{B6} - Vplyv zmeny izotopického zloženia vody. Odhad na základe porovnania zmeny hodnoty v čase (dlhodobé zmeny TBV).

u_{B7} - Vplyv zvyšku tlaku v banke trojného bodu vody. Odhad zvyškového tlaku v banke 0,3 Pa, prepočítané na ekvivalent teploty.

DPB Hg, Ga, In, Sn, Zn, Al a Ag**Tabuľka č. 9**

u_{Bi}	Zdroj	Hg	Ga	In	Sn	Zn	Al	Ag
		Hodnota u_{Bi} je v mK						
	Čistota kovu		7N	6N	6N	6N	6N	6N
u_{B1}	Vplyv chemických nečistôt	0,25	0,01	0,4	0,35	0,27	0,5	0,79
u_{B2}	Vplyv hydrostatického tlaku	0,04	0,006	0,016	0,011	0,013	0,013	0,027
u_{B3} u_{B4}	- vplyvy zmien hodnoty etalónu odporu (vplyvom teploty)	0,01	0,003	0,023	0,002 3	0,0034	0,0045	0,03
	- vplyv nelinearity mostu	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,13	0,4
u_{B5}	Vplyv neistoty TBV	0,06	0,088	0,119	0,135	0,193	0,22	1,5

u_{B6}	Vplyv z dôvodu ohrevu EOST prechodom prúdu pri meraní	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,07
u_{B7}	Vplyv odvodu tepla v závislosti od hĺbky ponoru	0,1	0,01	0,07	0,05	0,05	0,10	0,10
u_{B8}	Vplyv nepresnosti určenia tlaku v uzavretej banke pri fázovej premene kovu	0,04	0,002	0,06	0,036	0,047	0,071	0,061
u_{B9}	Vplyv daný výberom hodnoty teploty bodu odvodenej z vyhodnotenej krivky tuhnutia/tavenia	0,03	0,01	0,08	0,08	0,08	0,10	0,10

u_B	Výsledná štandardná neistota určená metódou typu B v mK	0,084	0,012	0,19	0,15	0,13	0,58	1,75
u_A	Štandardná neistota určená metódou typu A v mK	0,1	0,03	0,2	0,25	0,25	0,3	0,3
u_c	Kombinovaná štandardná neistota v mK	0,325	0,11	0,48	0,47	0,43	0,66	1,78
U	Rozšírená neistota pre $k=2$	0,65	0,22	0,96	0,94	0,86	1,32	3,56

Komentár k tabuľke č. 9:

u_{B1} - Vplyv chemických nečistôt. Výpočet na základe Raoultovho zákona z analýzy nečistôt uvedených v Certifikátoch analýzy kovov dodaných DPB a zakúpeného Ga.

u_{B2} - Vplyv hydrostatického tlaku (spôsobený umiestnením citlivého elementu EOST). Pre vyhodnotenie bola vzatá do úvahy neistota v umiestnení stredu citlivého elementu voči hladine kovu 5 mm, prepočítaná na ekvivalent teploty s pomocou zodpovedajúceho koeficientu z tabuľky č. 2 dokumentu ITS-90 [1].

Vplyv meraní na striedavom odporovom moste pozostáva zo zložiek u_{B3} a u_{B4} :

u_{B3} - Vplyv zmeny hodnoty etalónu odporu (z dôvodu zmien teploty).

Teplota etalónu odporu bola snímaná s neistotou 0,01 K. Táto neistota má vplyv na snímanie hodnoty etalónu odporu, čo sa v konečnom dôsledku prepočíta na neistotu snímania teploty pomocou EOST a EVOST.

u_{B4} - Vplyv nelinearity striedavého odporového mosta bola stanovená na základe literatúry a skúseností z iných zahraničných laboratórií u ktorých je používaný tento typ mostu. Táto hodnota bola prepočítaná na ekvivalent teploty.

u_{B5} - Vplyv neistoty trojného bodu vody. Vyhodnotené z kombinovanej štandardnej neistoty TBV a následným prepočtom na teplotu.

u_{B6} - Vplyv z dôvodu ohrevu EOST prechodom prúdu počas merania.

Odhad z meraných hodnôt odporu odporového snímača teploty pri rôznych prúdoch na základe viacerých súborov nameraných hodnôt (minimálne 15).

u_{B7} - Vplyv odvodu tepla v závislosti od hĺbky ponoru.

Odhad z kriviek ponoru, z odchýliek k ideálnej krivke.

u_{B8} - Vplyv nepresnosti určenia tlaku v uzavretej banke pri fázovej premene kovu. Tlak v uzavretých bankách je uvedený v certifikáte DPB výrobcu. Tieto hodnoty boli prepočítané na teplotný ekvivalent.

u_{B9} - Vplyv daný výberom hodnoty teploty bodu odvodenej z vyhodnotenej krivky tuhnutia/tavenia. Odhad z rozdielu pri krivkách tavenia a tuhnutia DPB.

6. Analýza výsledkov výskumu

Výskum bol smerovaný k rozšíreniu rozsahu teplotnej stupnice v SR, jej spresneniu zaradením DPB Hg a In s rešpektovaním medzinárodných dohôd a dokumentov [1, 3], s využitím najnovších poznatkov vedy a techniky v oblasti termodynamických procesov, ako aj v oblasti merania elektrických veličín.

Technické riešenie prístrojového vybavenia, ako aj nových prístupov k realizácii teplotnej stupnice je priebežne uvádzané v ročných výskumných správach. Práce podávajú prehľad vývojom a výskumom NE teploty v SMU.

Výsledkom nepretržitého výskumu sú aktuálne pracovné postupy realizácie jednotlivých definičných pevných bodov, postupy pri kalibrácii interpolačných prístrojov zahrňujúce postupy vyhodnocovania a ďalšieho spracovania nameraných hodnôt.

7. Medzinárodné porovnávacie merania

SMU nepretržite pracuje na spresňovaní a rozširovaní rozsahu realizovanej teplotnej stupnice. V súčasnosti sa pripravuje realizácia trojného bodu Ar, čo bude predstavovať zabezpečenie teplotnej stupnice od -189 °C. Z pohľadu deklarácie parametrov NE je nevyhnutné zabezpečiť jeho akceptovateľnosť na medzinárodnej úrovni. Táto činnosť sa vykonáva prostredníctvom medzinárodných porovnávacích meraní.

Proces zabezpečovania medzinárodnej akceptovateľnosti

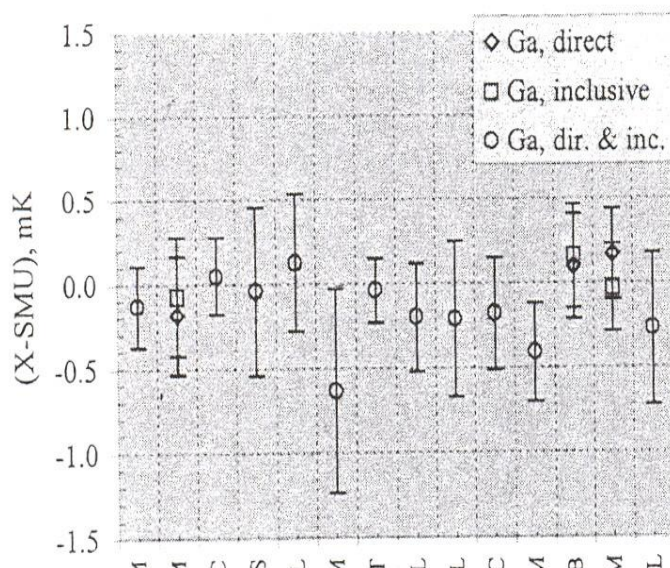
Realizovaná teplotná stupnica je akceptovaná na základe výsledkov z medzinárodných porovnávacích meraní. Od roku 1995 sa SMU aktívne

zapája do kľúčových medzinárodných porovnávacích meraní. Tieto sú organizované v súlade s medzinárodným dokumentom „Dohovor o vzájomnom uznávaní národných etalónov a kalibračných a meracích certifikátov, vydávaných národnými metrologickými ústavmi“ (Mutual Recognition Arrangement MRA). Na základe uvedeného dohovoru sa stanovuje stupeň ekvivalencie národných etalónov jednotlivých krajín. Laboratórium termometrie SMU v zmysle MRA sa zúčastnilo a naďalej sa zúčastňuje kľúčových porovnávacích meraní na úrovni poradného výboru pre termometriu (CCT) pri Medzinárodnom úrade pre miery a váhy (BIPM) a tiež v rámci regionálnej metrologickej organizácie EURAMET e.V.. V ďalšej časti je uvedený stručný prehľad vykonaných a prebiehajúcich porovnávacích meraní, na základe ktorých sa posudzuje akceptovateľnosť realizácie teplotnej stupnice v SR.

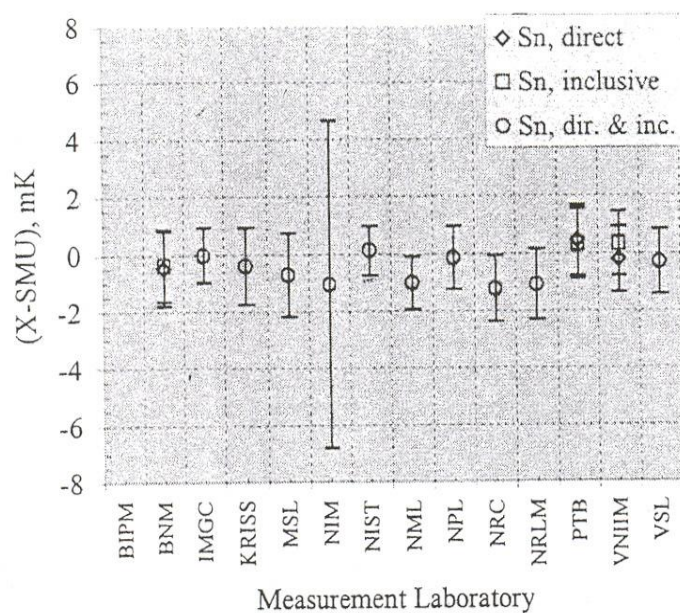
Kľúčové porovnávacie meranie CCT K3

Porovnanie bolo organizované Poradným výborom pre termometriu. Medzinárodného úradu pre miery a váhy, ktorého cieľom bolo porovnať realizáciu teplotnej stupnice v rozsahu (83,8058 až 933,473) K v zúčastnených laboratóriách. Porovnávacie merania boli na celosvetovej úrovni. Boli zahájené v roku 1997 a ukončené v roku 2001. Jednalo sa o porovnanie najväčšieho rozsahu, ako aj úrovne doteraz vykonaného v oblasti termometrie v SMU. Porovnávania sa okrem SMU zúčastnilo 14 krajín. Organizátorom bol NIST (USA). SMU sa v uvedenom porovnaní zúčastnil v rozsahu od 0 °C do 660 °C s nasledujúcimi definičnými pevnými bodmi: trojný bod vody, bod tavenia Ga, body tuhnutia Sn, Zn a Al. Zároveň sa preverila schopnosť realizovať teplotnú stupnicu v zúčastnených laboratóriách. K tomuto účelu bol do porovnávania zaradený bod tuhnutia kadmia (nie je definičným pevným bodom ITS-90), ktorého teplota sa určovala.

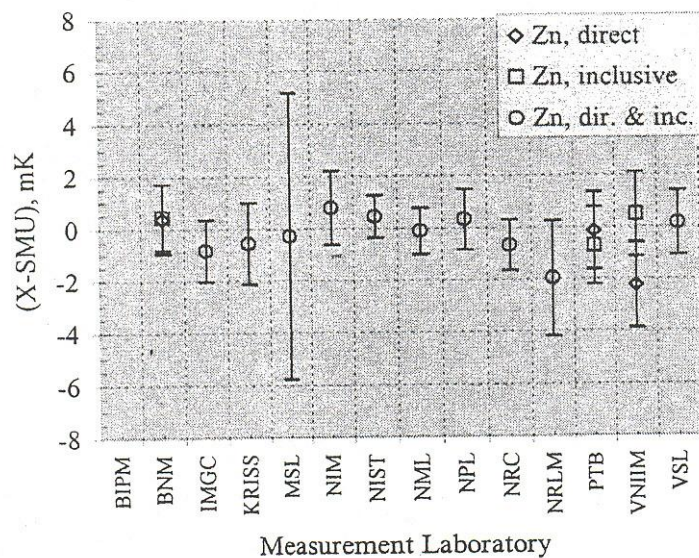
Slovenský metrologický ústav v tomto náročnom porovnaní meraní vo všetkých



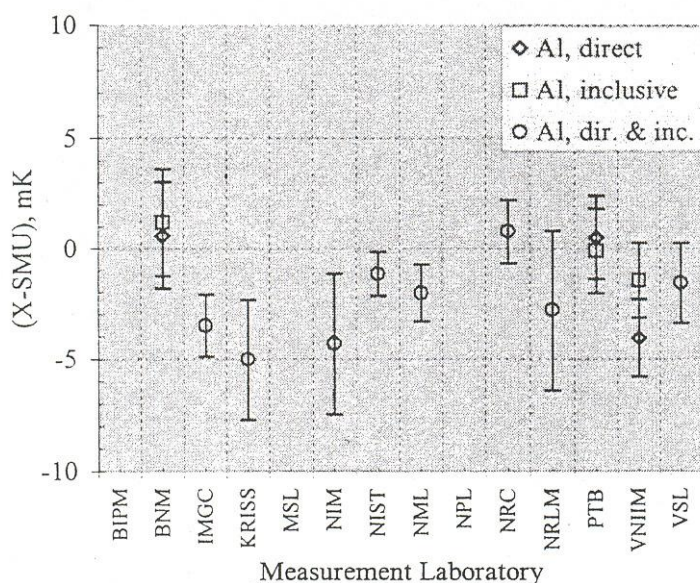
Obrázok č. 1 udáva rozdiel realizácie definičného pevného bodu Ga s rozšírenou neistotou príslušného zúčastneného laboratória a SMU



Obrázok č. 2 udáva rozdiel realizácie definičného pevného bodu Sn s rozšírenou neistotou príslušného zúčastneného laboratória a SMU



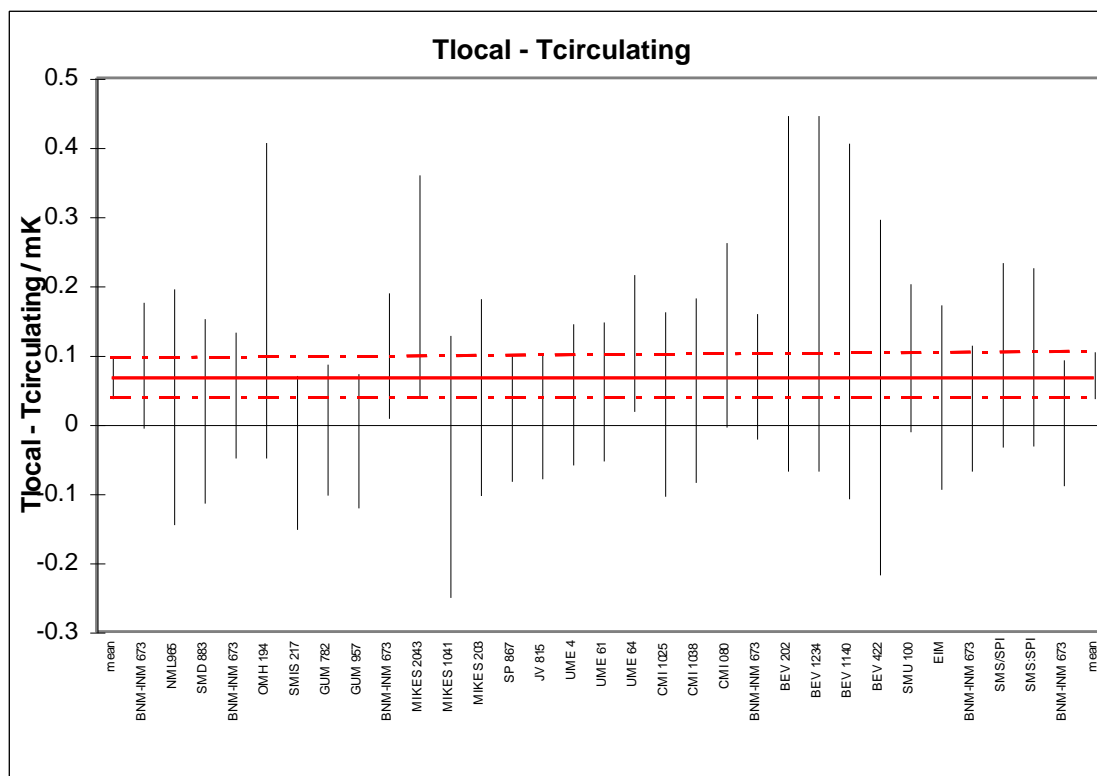
Obrázok č. 3 udáva rozdiel realizácie definičného pevného bodu Zn s rozšírenou neistotou príslušného zúčastneného laboratória a SMU



Obrázok č. 4 udáva rozdiel realizácie definičného pevného bodu Al s rozšírenou neistotou príslušného zúčastneného laboratória a SMU

Porovnávacie meranie Euromet 549

Projekt bol zameraný na porovnanie realizácie trojných bodov vody v jednotlivých laboratóriách spolu s príslušnou neistotou. Zúčastnilo sa ho pätnásť metrologických laboratórií. Pilotným laboratóriom bolo BNM-INM (Francúzsko). Putovná referenčná banka trojného bodu vody (poskytnutá BNM-INM) bola priamo porovnávaná s bankami trojných bodov vody jednotlivých zúčastnených laboratórií. Referenčná banka bola doručená spolu s izotermickým kontajnerom, ktorý slúžil na jej udržiavanie počas merania. Spôsob prípravy a používania referenčnej banky bol vo všetkých laboratóriách rovnaký a bol určený technickým protokolom. Rozdiely teploty trojného bodu vody realizovaného v jednotlivých laboratóriách od referenčnej hodnoty sú graficky znázornené na obrázku č. 5.



Obr. č. 5 Rozdiely teploty trojného bodu vody realizovaného v jednotlivých laboratóriách od referenčnej hodnoty

Porovnávacie meranie - EUROMET.T-S2 (projekt Euromet 391)

Hlavným cieľom tohto porovnávacieho merania bolo porovnať definičný pevný bod In realizovaný v rôznych metrologických laboratóriách a na základe získaných poznatkov vypracovať optimálny postup realizácie tohoto definičného pevného bodu. Koordinátorom porovnania bol Justervesent (Nórsko) a zúčastnilo sa ho devätnásť metrologických laboratórií.

Porovnávacie meranie bolo realizované formou priameho porovnania banky In zúčastneného laboratória realizovanej metódou používanou v danom laboratóriu s referenčnou bankou, ktorá bola realizovaná presne stanoveným postupom v dodanom zariadení. Zariadenie na realizáciu definičného pevného bodu In (pec) a samotná banka In boli poskytnuté BNM-INM. Stabilita referenčnej banky In bola počas meraní priebežne kontrolovaná v BNM-INM.

Vzhľadom na niektoré nezrovnalosti pri zhodnocovaní výsledkov a nameraných hodnôt ešte stále prebieha diskusia ohľadne vyhodnocovania výsledkov.

Kľúčové porovnávacie meranie EUROMET.T-K3 (projekt Euromet 552)

V tomto projekte sa jednalo o porovnanie teplotnej stupnice v rozsahu 83,8058 K až 692,677 K realizovanej v jednotlivých zúčastnených laboratóriách. Koordinátorom porovnania bol BNM-INM. Projekt priamo nadväzoval na kľúčové porovnávacie merania CCT K3 (uvedené vyššie). Účastníci boli rozdelení do piatich slučiek. Pre každú slučku bol určený subkoordinátor, ktorého úlohou bolo poskytnúť vysokostabilný etalónový odporový snímač teploty a koordinovať priebeh prác v danej slučke. Tento snímač bol následne kalibrovaný v jednotlivých laboratóriách v danej slučke. Vzhľadom na úspešnú účasť v porovnávaniach CCT K3 sa SMU stalo v tomto porovnaní subkoordinátorom jednej zo slučiek. V súčasnosti sú všetky merania tesne pred dokončením a predpokladá sa termín ukončenia ešte v tomto roku.

Projekt CCT-K7 – Kľúčové porovnanie baniek trojného bodu vody

Uvedené medzinárodné porovnávacie meranie bolo organizované Medzinárodným úradom pre miery a váhy (BIPM) v spolupráci s BNM-INM, NIST a UME. Zúčastnili sa ho iba metrologické ústavy ktoré sú riadnymi členmi, prípadne pozorovateľmi v Poradnom výbore pre termometriu (CCT).

Cieľom porovnávacieho merania bolo:

- priame porovnanie baniek trojného bodu vody,
- porovnanie kalibrácií týchto baniek vykonanými v zúčastnených metrologických laboratóriách.

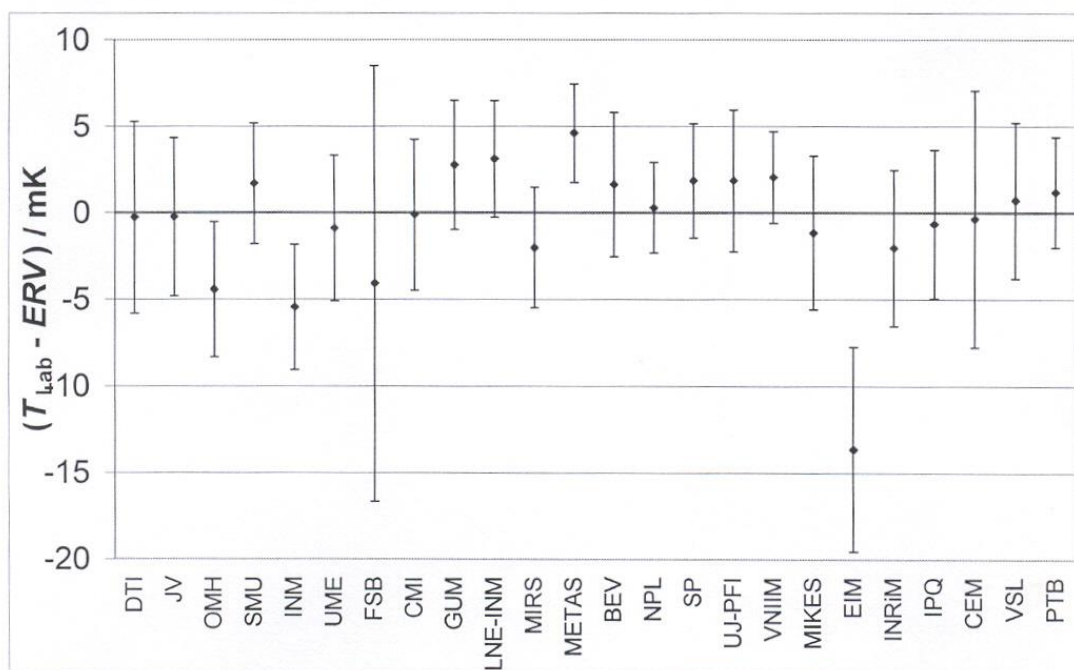
Pre splnenie prvého bodu všetky zúčastnené laboratória vybrali banku trojného bodu vody známych metrologických parametrov (putovná banka) a zaslali ju do BIPM kde boli tieto banky vzájomne porovnané použitím rovnakého spôsobu prípravy ľadového plášťa a rovnakého prístrojového vybavenia. Výsledky bude možné publikovať po zverejnení záverečnej správy pilotného laboratória. Nakoľko cieľom priameho porovnania putovných baniek bolo taktiež prakticky overiť súvislosť medzi hodnotou reprodukovanou bankou a chemickým prípadne izotopickým zložením použitej vody, laboratória zasielali spolu s bankou aj všetky dostupné informácie týkajúce sa chemického a izotopického zloženia vody, veku banky a výrobcu.

Pre splnenie druhého bodu zúčastnené laboratória zistili teplotný rozdiel medzi bankou TBV ktorá je súčasťou národného etalónu (referenčnou bankou) a putovnou bankou spolu s príslušnou neistotou. Tieto hodnoty, spolu s opisom použitého prístrojového vybavenia a krivkou ponoru boli zaslané do BIPM spolu s putovnou bankou. Spôsob určenia teplotného rozdielu medzi bankami, metodika vyhodnotenia neistoty, boli dané protokolom medzinárodného porovnania.

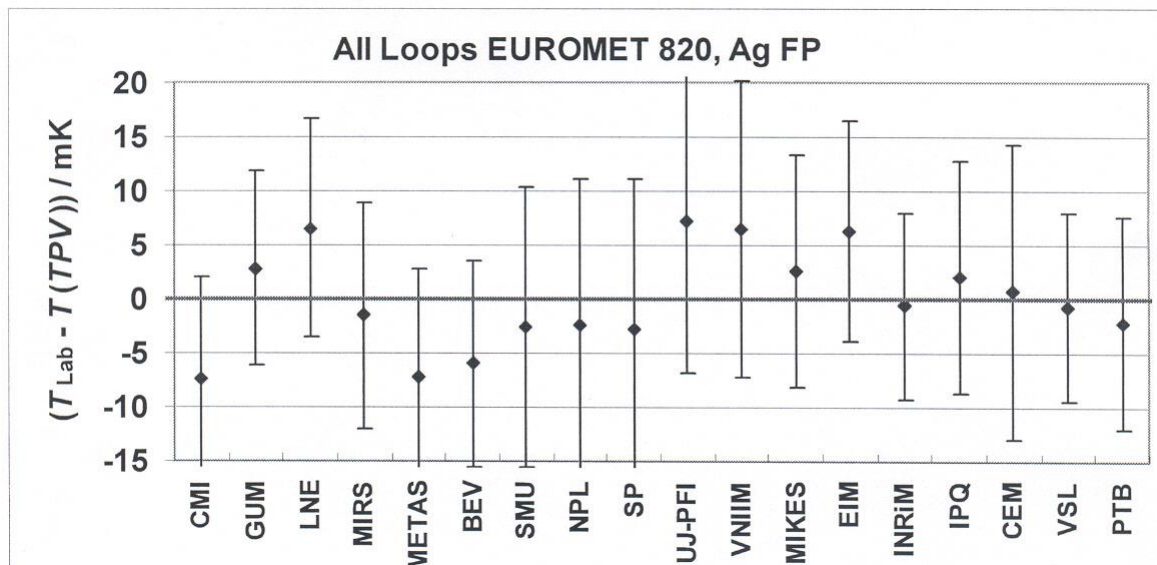
Ako putovná banka bola vybratá banka SMU 1 vyrobená vo VNIIM dodaná do SMU v Októbri 2000. Referenčná banka bola banka ISOTECH 100, ktorá je súčasťou národného etalónu teploty.

EUROMET-T K4 -- Kľúčové porovnávacie meranie realizácie bodov tuhnutia hliníka (660,323 °C) a striebra (961,78 °C)

V tomto projekte sa jednalo o porovnanie realizácie bodov tuhnutia hliníka (660,323 °C) a striebra (961,78 °C) etalónovými odporovými snímačmi teploty. V DPB Al sa kalibroval EOST so základným odporom 25 Ω a v DPB Ag 2 ks VOST so základným odporom 0,2 Ω. Organizátorom bol PTB Nemecko. Účastníci porovnávacieho merania boli rozdelení do 4 slučiek, SMU vystupoval v tomto projekte ako subpilotné laboratórium. Výsledky sú uvedené na nasledujúcich obrázkoch.



Obr. č. 6 Rozdiely teploty Al realizovaného v jednotlivých laboratóriách od referenčnej hodnoty



Obr. č. 7 Rozdiely teploty Ag realizovaného v jednotlivých laboratóriách od referenčnej hodnoty

8. Literatúra

- [1] H. Preston-Thomas: The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90). In: Metrologia 27, 1990, s.3-10
- [2] Hart Scientific, Model 5904/5905/5906/5907/5908/5909 Metal Freezing Point Cell. [User Manual], American Fork 1996.
- [3] Supplementary Information for the International Temperature Scale of 1990. BIPM, Sevres 1996.
- [4] Guidelines for the Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibrations. WECC Doc. 19-1990.
- [5] Schéma nadväznosti meradiel teploty v rozsahu nad 0,01°C. TPM 3041-97, Bratislava, SMÚ 1997.
- [6] S. Ďuriš a kol.: Slovenský národný etalón teploty v intervale od 0,01°C do 961,781°C. Výskumná správa. SMÚ, Bratislava 1998.
- [7] S. Ďuriš a kol.: Primárna realizácia teplotnej stupnice a vývoj nového definičného pevného bodu. [Správa výskumnej úlohy]. SMÚ Bratislava, december 1997.
- [8] S. Ďuriš, R. Knorová, A. Sýkorčinová, J. Ranostaj, I. Vyskočilová: Technická realizácia zariadenia pre zabezpečenie teplotnej stupnice v oblasti nízkych teplôt a realizácia otvorených baniek definičných pevných bodov, Správa výskumnej úlohy, SMÚ Bratislava, december 2002.

- [9] S. Ďuriš, R. Knorová, J. Ranostaj, A. Sýkorčinová, I. Vyskočilová, I. Horváth, L. Oravec: Realizácia teplotnej stupnice so súborom otvorených baniek DPB a rozšírenie realizácie stupnice do -180°C spojené s vývojom systému trojného bodu argónu. Správa výskumnej úlohy, SMÚ Bratislava, december 2003.
- [10] S. Ďuriš a kol.: Národný etalón teploty NE020/A. Správa výskumnej úlohy, SMÚ Bratislava, december 2004.
- [11] S. Ďuriš, P. Nemeček, R. Knorová, A. Sýkorčinová, I. Vyskočilová, L. Oravec: Národný etalón teploty NE020/A. Správa výskumnej úlohy, SMÚ Bratislava, december 2005.
- [12] S. Ďuriš, J. Ranostaj, R. Knorová, A. Sýkorčinová, I. Vyskočilová, L. Oravec: Národný etalón teploty NE020/A. Záverečná správa výskumnej úlohy, SMÚ Bratislava, december 2006.
- [13] J. Ranostaj, S. Ďuriš, R. Knorová, A. Sýkorčinová, I. Vyskočilová, L. Oravec: Uchovávanie, zdokonaľovanie a rozvoj etalónov teploty. Záverečná správa výskumnej úlohy, SMÚ Bratislava, december 2007.
- [14] J. Ranostaj, S. Ďuriš, R. Knorová, A. Sýkorčinová, I. Vyskočilová, L. Oravec: Uchovávanie, zdokonaľovanie a rozvoj etalónov teploty. Záverečná správa výskumnej úlohy, SMÚ Bratislava, december 2008.
- [15] J. Ranostaj, R. Knorová, I. Vyskočilová, M. Kaskötö, L. Kolpachová, L. Oravec: Uchovávanie, zdokonaľovanie a rozvoj etalónov teploty. Záverečná správa výskumnej úlohy, SMÚ Bratislava, december 2007.

9. Zoznam medzinárodných porovnávacích meraní

CCT-K3, Realization of the ITS-90 from 83,8058 K to 933,473 K (1997-2001), Key comparison in Thermometry, Standard Platinum Resistance Thermometers.

CCT-K7, Comparison of water triple point cells (2002-2004), Key comparison in Thermometry, Fixed Point Cells, Temperature: 273,16 K.

COOMET.T-K3, Realizations of the ITS-90 from 302,9 K to 692,7 K (2005-2007), Key comparison in Thermometry, Standard Platinum Resistance Thermometers.

COOMET.T-K7, Comparison of water triple point cells (2008-2009), Key comparison in Thermometry, Fixed Point Cells, Temperature: 273,16 K.

EUROMET.T-K3, Realization of the ITS-90 from 83,8 K to 692,7 K (2001-2004), Key comparison in Thermometry, Standard Platinum Resistance Thermometers.

EUROMET.T-K4, Comparison of local realizations of Aluminium and Silver freezing-point temperatures (2004-2005), Key comparison in Thermometry, Fixed Point Cells 660,323 °C (Al) and 961,78 °C (Ag).

EUROMET.T-K7, Comparison of water triple point cells (2006-2007), Key comparison in Thermometry, Fixed Point Cells, Temperature: 273,16 K.

EUROMET.T-S2, Comparison of realizations of the Indium freezing point temperature, (1997-2002), Supplementary comparison in Thermometry, Fixed Point Cells.

10. Kalibračné a meracie schopnosti laboratória (CMC)

V nasledovnej tabuľke sú uvedené kalibračné a meracie schopnosti laboratória priamo súvisiace s realizáciou a prenosom teplotnej stupnice v rozsahu - 38,8344 °C až 961,78 °C. Uvedené údaje sú publikované na internetovej stránke Medzinárodného úradu pre miery a váhy (<http://www.bipm.org/>).

Temperature. Aluminium point, **660.323 °C**

Absolute expanded uncertainty ($k = 2$, level of confidence 95%) in mK: **2**

By comparison

Temperature controlled furnace

Approved by 18 May 2004

Internal NMI service identifier: SMU/7

Temperature. Gallium point, **29.7646 °C**

Absolute expanded uncertainty ($k = 2$, level of confidence 95%) in mK: **0.22**

By comparison

Temperature controlled thermostat

Approved by 18 May 2004

Internal NMI service identifier: SMU/3

Temperature. Indium point cell, **156.5985 °C**

Absolute expanded uncertainty ($k = 2$, level of confidence 95%) in mK: **0.95**

Comparison with reference fixed-point cell

Temperature controlled furnace: three zone furnace

Approved on 20 May 2010

Internal NMI service identifier: SMU/4

Temperature. Long stem SPRT, **0.01 °C**
Absolute expanded uncertainty ($k = 2$, level of confidence 95%) in mK: **0.15**
Calibration at triple point of water
Temperature controlled bath: stirred water bath
Approved on 20 January 2010
Internal NMI service identifier: SMU/9

Temperature. Long stem SPRT, **156.5985 °C**
Absolute expanded uncertainty ($k = 2$, level of confidence 95%) in mK: **0.95**
Calibration at In fixed point only
Temperature controlled furnace: three zone furnace
Approved on 20 May 2010
Internal NMI service identifier: SMU/11

Temperature. Long stem SPRT, **231.928 °C**
Absolute expanded uncertainty ($k = 2$, level of confidence 95%) in mK: **0.92**
Calibration at Sn fixed point only
Temperature controlled furnace: three zone furnace
Approved on 20 May 2010
Internal NMI service identifier: SMU/12

Temperature. Long stem SPRT, **961.78 °C**
Absolute expanded uncertainty ($k = 2$, level of confidence 95%) in mK: **6**
Calibration at Ag point only
Temperature controlled furnace: three zone furnace
Approved on 20 May 2010
Internal NMI service identifier: SMU/15

Temperature. Mercury point, **234.3156 K**
Absolute expanded uncertainty ($k = 2$, level of confidence 95%) in mK: **0.7**
By comparison
Temperature controlled thermostat
Approved by 18 May 2004
Internal NMI service identifier: SMU/1

Temperature. Silver point cell, **961.78 °C**
Absolute expanded uncertainty ($k = 2$, level of confidence 95%) in mK: **5**
Comparison with reference fixed-point cell
Temperature controlled furnace: three zone furnace
Approved on 20 May 2010
Internal NMI service identifier: SMU/22

Temperature. SPRT, **234.3156 K**
Absolute expanded uncertainty ($k = 2$, level of confidence 95%) in mK: **0.7**
Calibration at triple point of Mercury only
Ambient temperature: $(23 \pm 1) \text{ °C}$
Approved by 18 May 2004
Internal NMI service identifier: SMU/8

Temperature. SPRT, **29.7646 °C**
Absolute expanded uncertainty ($k = 2$, level of confidence 95%) in mK: **0.22**
Calibration at melting point of Gallium only
Ambient temperature: $(23 \pm 1) \text{ °C}$

Approved by 18 May 2004
Internal NMI service identifier: SMU/10

Temperature. SPRT, **419.527 °C**
Absolute expanded uncertainty ($k = 2$, level of confidence 95%) in mK: **1.4**
Calibration at freezing point of Zinc only
Ambient temperature: (23 ± 1) °C
Approved by 18 May 2004
Internal NMI service identifier: SMU/13

Temperature. SPRT, **660.323 °C**
Absolute expanded uncertainty ($k = 2$, level of confidence 95%) in mK: **2**
Calibration at freezing point of Aluminium only
Ambient temperature: (23 ± 1) °C
Approved by 18 May 2004
Internal NMI service identifier: SMU/14

Temperature. Tin point cell, **231.928 °C**
Absolute expanded uncertainty ($k = 2$, level of confidence 95%) in mK: **0.92**
Comparison with reference fixed-point cell
Temperature controlled furnace: three zone furnace
Approved on 20 May 2010
Internal NMI service identifier: SMU/5

Temperature. Water triple point cell, **0.01 °C**
Absolute expanded uncertainty ($k = 2$, level of confidence 95%) in mK: **0.15**
Direct comparison
Temperature controlled bath: stirred water bath
Approved on 20 January 2010
Internal NMI service identifier: SMU/2

Temperature. Zinc point, **419.527 °C**
Absolute expanded uncertainty ($k = 2$, level of confidence 95%) in mK: **1.4**
By comparison
Temperature controlled furnace
Approved by 18 May 2004
Internal NMI service identifier: SMU/6